

# Análisis de una microcavidad semimagnética semiconductor sometida a efectos no lineales

David Pereda Cubián

Robert Frey

José Luis Arce Diego

Departamento TEISA  
Universidad de Cantabria

Laboratoire Charles Fabry  
Université Paris-Sud

Departamento TEISA  
Universidad de Cantabria

## ABSTRACT

A semimagnetic semiconductor microcavity is described and its behaviour under non-linear effects explained. The variation produced both in the *Faraday* rotation and the dephasing of the optical signal is calculated, showing that it can be obtained as the addition of the different non-linear processes effects.

## 1. INTRODUCCIÓN

Una microcavidad semimagnética semiconductor es una cavidad de *Fabry-Perot* en cuyo centro se sitúa un pozo cuántico. La introducción de este pozo cuántico produce una gran variación en el comportamiento de la microcavidad, produciendo efectos como el *Rabi Splitting* o una gran rotación de *Faraday* respecto otros materiales como las fibras o cristales [1]. Para el análisis de esta microcavidad se emplea el método de las matrices de *Scattering* ópticas [2]. En este artículo se realiza el análisis del efecto sobre la cavidad de la introducción de un bombeo externo, el cual produce la aparición de diferentes efectos no lineales en el interior de la cavidad, como la saturación o el desplazamiento hacia el azul (*blue shift*). Este estudio se centrará en el efecto sobre la pseudorotación de *Faraday* y el desfase entre las componentes ortogonales que se propagan por la microcavidad.

## 2. DESCRIPCIÓN Y MODELADO DE LA CAVIDAD

Para el análisis de la microcavidad se emplea el método de las matrices de *Scattering* ópticas. Cada elemento de un sistema se caracteriza mediante su correspondiente matriz de *Jones*.

a) *Propagación*. La propagación por la microcavidad se caracteriza como un retardador ideal:

$$D = e^{-j\beta l} \cdot I \quad (1)$$

b) *Reflexión y transmisión*. La reflexión y transmisión en los espejos de la microcavidad se caracterizan a través de sus coeficientes de reflexión y mediante las siguientes matrices:

$$R = \begin{pmatrix} r_x & 0 \\ 0 & r_y \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} t_x & 0 \\ 0 & t_y \end{pmatrix} \quad (2)$$

La relación entre los coeficientes de reflexión y transmisión y la reflectividad es la siguiente:

$$r = \sqrt{R} \cdot e^{j\phi} \quad t = \sqrt{1-R} \cdot e^{j\phi} \quad (3)$$

c) *Pozo cuántico*. Para la caracterización del pozo cuántico se emplean igualmente matrices de reflexión y transmisión. La diferencia radica en la utilización de un coeficiente de reflexión diferente, caracterizando el conjunto de la microcavidad:

$$r_{qw} = \frac{-i \cdot \Gamma}{\Delta + i \cdot (1 + \Gamma)} \quad t_{qw} = 1 + r_{qw} \quad (4)$$

donde  $\Delta$  es el desplazamiento en frecuencia normalizado y  $\Gamma$  el ancho de banda radiativo [1].

### 2.1. Análisis matricial de la microcavidad

Conocidas las matrices que describen cada elemento se modela el comportamiento de la microcavidad mediante la teoría de grafos y las matrices de *Scattering* ópticas. El esquema de la microcavidad es el siguiente:

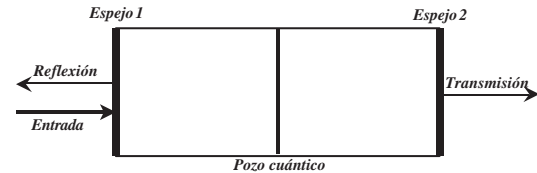


Figura 1: Microcavidad Semimagnética Semiconductor.

La cavidad puede funcionar tanto en transmisión como en reflexión, siendo en reflexión donde los efectos son más acentuados. En la siguiente figura se representan los grafos de la microcavidad tanto en reflexión como en transmisión:

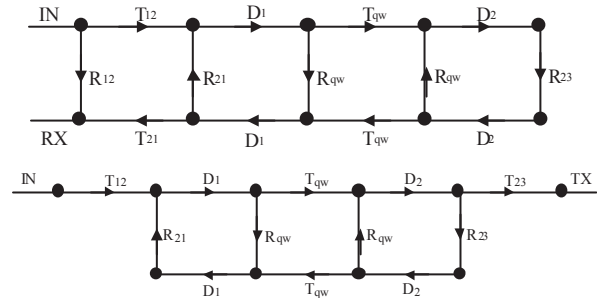


Figura 2: Grafos de; a) reflexión, b) transmisión.

$T_{12}$  y  $R_{12}$  son la transmisión y la reflexión del primer espejo,  $T_{23}$  y  $R_{23}$  del segundo,  $D_1$  es el desfase de la primera mitad de la microcavidad y  $D_2$  por la segunda.  $T_{qw}$  y  $R_{qw}$  son la transmisión y reflexión del pozo cuántico. La matriz que caracteriza cada configuración se obtiene utilizando las técnicas de reducción de grafos y la regla de *Mason* [3]:

$$S = \frac{\sum_k P_k \cdot \Delta_k}{\Delta} \quad (5)$$

### 3. ANALISIS DEL CASO NO LINEAL

En el caso lineal, en el que se introducen sobre este dispositivo un campo magnético externo, se se obtienen valores muy elevados de la rotación de *Faraday* para determinados valores de este campo magnético [4]. Sin embargo, este efecto se produce a muy bajas temperaturas, del orden de 50°K. Si la temperatura aumenta, la rotación de *Faraday* inducida se reduce drásticamente. Es por este motivo que se estudia el caso no lineal. En él, se elimina el campo magnético externo, y éste es sustituido por un bombeo de una señal óptica de alta potencia, produciendo la aparición de efectos no lineales en el interior de la microcavidad. Estos efectos no lineales producen, como en el caso lineal, la aparición de una pseudorotación de *Faraday* de valor elevado, y también un desfase entre las dos componentes ortogonales de la señal que se propaga por la microcavidad. Este desfase se define de la siguiente manera:

$$\text{Desfase} = \frac{1}{2} \cdot \text{ArcTan} \left( \frac{R_x - R_y}{R_x + R_y} \right) \quad (6)$$

Los efectos no lineales que se producen en el interior de la microcavidad son básicamente dos, la saturación, y el desplazamiento hacia el azul del espectro.

a) *Saturación*. El parámetro que determina el comporta el comportamiento de la cavidad es el ancho de banda radiativo  $\Gamma$ . En presencia de un bombeo de alta potencia se produce un efecto de saturación, y como consecuencia de él, una reducción del valor de este parámetro, de la siguiente manera:

$$\Gamma_{sat} = \Gamma \cdot (1 - \text{Saturación}) \quad (7)$$

Si suponemos un valor de saturación de 0.03, los espectros de rotación y de desfase serán los siguientes:

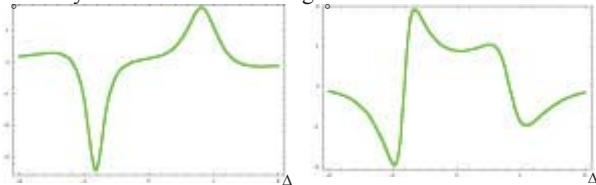


Figura 3: Espectros de; a) rotación, b) desfase, considerando la saturación.

b) *Desplazamiento hacia el azul (blue shift)*. En presencia del bombeo externo, se produce un desplazamiento hacia el azul de la frecuencia de resonancia de la señal. Si suponemos un valor de desplazamiento de 0.1, los espectros de rotación y de desfase serán los siguientes:

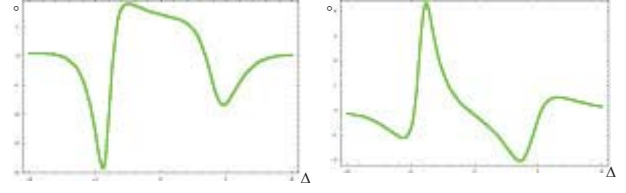


Figura 4: Espectros de; a) rotación, b) desfase, considerando el desplazamiento hacia el azul.

Hay que considerar que estos efectos no lineales se producen sólo en aquella componente que corresponda con el bombeo, es decir, si el bombeo se produce con una señal polarizada circularmente a derechas, sólo esta componente de la señal sufrirá el efecto no lineal. Si el bombeo se realiza para ambas componentes de igual manera, el efecto total sobre la señal se anula. En un caso real, ambos efectos no lineales se producen simultáneamente. En tal caso, considerando simultáneamente ambos efectos, los espectros de rotación y desfase serán los siguientes:

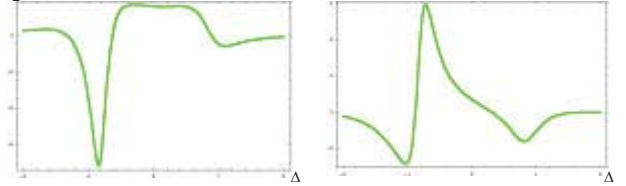


Figura 5: Espectros de; a) rotación, b) desfase, considerando ambos efectos.

Se puede ver que el resultado final de los espectros es la suma de cada uno de los efectos por separado. Los valores de pseudorotación y desfase son, aunque menores que en el caso lineal, de un valor muy elevado, de hasta 7° en la rotación de *Faraday* y 6° en el desfase entre las dos componentes ortogonales.

### 4. CONCLUSIONES

Se ha analizado una microcavidad semimagnética semiconductor, en el caso no lineal, es decir, donde la cavidad, sin la presencia de un campo magnético, es sometida al bombeo de una señal externa de alta potencia, que induce una serie de efectos no lineales, como la saturación y el desplazamiento hacia el azul. Se ha representado el resultado de la pseudorotación de *Faraday* y el desfase entre componentes, viéndose que el resultado en presencia de ambos efectos se puede obtener como la suma del resultado de cada uno de los dos efectos por separado.

### 5. REFERENCIAS

- [1] M.Haddad et col., "Enhanced Faraday rotation in an asymmetric semiconductor microcavity", *Solid State Communications* 111, 1999.
- [2] Y.Weissman, "Optical network theory", Artech House, 1992.
- [3] D.Pereda Cubián et col., "Análisis mediante matrices de Scattering de un interferómetro *Fabry-Perot* con perturbaciones". URSI'2000.
- [4] C.Buss et col., "Giant photo-induced excitonic Faraday rotation in CdTe/CdMnTe multiple quantum wells", *Physics Review Letters*, 78 (21), 1997.